

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-353541

(43)Date of publication of application : 06.12.2002

(51)Int.Cl.

H01S 3/094

H01S 3/06

H01S 3/10

(21)Application number : 2001-153578

(71)Applicant : FUJI PHOTO FILM CO LTD

(22)Date of filing : 23.05.2001

(72)Inventor : OTSUKA TAKASHI  
OKAZAKI YOJI  
KATO TAKAYUKI

## (54) FIBER-OPTIC LASER AND FIBER-OPTIC AMPLIFIER

### (57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize more number of oscillation wavelengths in a fiber-optic laser which generates a laser beam, in such a way that a fiber comprising a core doped with rare-earth element ions is pumped by a laser diode.

SOLUTION: The fiber 13, comprising the core doped with Ho<sup>3+</sup>, is pumped by a GaN-based laser diode 11, and the laser beam 15 is generated by the transitions: 5S<sub>2</sub> to 5I<sub>7</sub> or 5S<sub>2</sub> to 5I<sub>8</sub> in the fiber 13.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.12.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-353541

(P2002-353541A)

(43) 公開日 平成14年12月6日 (2002. 12. 6)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード (参考)
H 0 1 S 3/094		H 0 1 S 3/06	B 5 F 0 7 2
3/06		3/10	Z
3/10		3/094	S

審査請求 未請求 請求項の数48 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-153578(P2001-153578)

(22) 出願日 平成13年5月23日 (2001. 5. 23)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 大塚 尚

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 岡崎 祥二

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外1名)

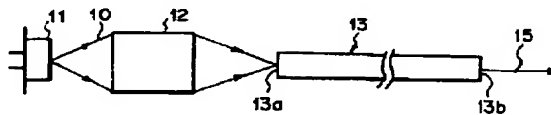
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ファイバーレーザーおよびファイバーアンプ

(57) 【要約】

【課題】 希土類元素イオンが添加されたコアを有するファイバーを、レーザーダイオードによって励起してレーザービームを発生させるファイバーレーザーにおいて、より多くの発振波長を実現する。

【解決手段】  $\text{Ho}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバー13をGa N系レーザーダイオード11によって励起し、該ファイバー13における $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ 、あるいは $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によってレーザービーム15を発生させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】  $\text{Ho}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGa N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける  $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ 、あるいは  $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$  の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするファイバーレーザー。

【請求項2】 前記  $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$  の遷移によって波長が740～760nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項1記載のファイバーレーザー。

【請求項3】 前記  $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$  の遷移によって波長が540～560nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項1記載のファイバーレーザー。

【請求項4】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして  $\text{Ho}^{3+}$  のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項1から3いずれか1項記載のファイバーレーザー。

【請求項5】  $\text{Sm}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGa N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける  $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ 、 $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ 、あるいは  $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$  の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするファイバーレーザー。

【請求項6】 前記  $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$  の遷移によって波長が556～576nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項5記載のファイバーレーザー。

【請求項7】 前記  $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$  の遷移によって波長が605～625nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項5記載のファイバーレーザー。

【請求項8】 前記  $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$  の遷移によって波長が640～660nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項5記載のファイバーレーザー。

【請求項9】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして  $\text{Sm}^{3+}$  のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項5から8いずれか1項記載のファイバーレーザー。

【請求項10】  $\text{Eu}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGa N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$  の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするファイバーレーザー。

【請求項11】 前記  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$  の遷移によって波長が579～599nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項10記載のフ

ファイバーレーザー。

【請求項12】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして  $\text{Eu}^{3+}$  のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項10または11記載のファイバーレーザー。

【請求項13】  $\text{Dy}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGa N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ 、あるいは  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$  の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするファイバーレーザー。

【請求項14】 前記  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$  の遷移によって波長が562～582nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項13記載のファイバーレーザー。

【請求項15】 前記  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$  の遷移によって波長が654～674nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項13記載のファイバーレーザー。

【請求項16】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして  $\text{Dy}^{3+}$  のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項13から15いずれか1項記載のファイバーレーザー。

【請求項17】  $\text{Er}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGa N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける  $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 、あるいは  $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$  の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするファイバーレーザー。

【請求項18】 前記  $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  の遷移によって波長が530～550nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項17記載のファイバーレーザー。

【請求項19】 前記  $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$  の遷移によって波長が544～564nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項17記載のファイバーレーザー。

【請求項20】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして  $\text{Er}^{3+}$  のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項17から19いずれか1項記載のファイバーレーザー。

【請求項21】  $\text{Tb}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGa N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける  $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$  の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするファイバーレーザー。

【請求項22】 前記  $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$  の遷移によって波長が530～550nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項21記載のファイバーレーザー。

【請求項23】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして $Tb^{3+}$ のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項21または22記載のファイバーレーザー。

【請求項24】 前記Ga<sub>0.9</sub>N系レーザーダイオードが、InGa<sub>0.1</sub>N、InGa<sub>0.1</sub>NAsあるいはGa<sub>0.9</sub>NAsからなる活性層を有するものであることを特徴とする請求項1から23いずれか1項記載のファイバーレーザー。

【請求項25】  $Ho^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>0.9</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5S_2 \rightarrow ^5I_7$ 、あるいは $^5S_2 \rightarrow ^5I_8$ の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有することを特徴とするファイバーアンプ。

【請求項26】 前記 $^5S_2 \rightarrow ^5I_7$ の遷移によって740~760nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項25記載のファイバーアンプ。

【請求項27】 前記 $^5S_2 \rightarrow ^5I_8$ の遷移によって540~560nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項25記載のファイバーアンプ。

【請求項28】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして $Ho^{3+}$ のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項25から27いずれか1項記載のファイバーアンプ。

【請求項29】  $Sm^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>0.9</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}$ 、あるいは $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$ 、あるいは $^4F_{3/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$ の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有することを特徴とするファイバーアンプ。

【請求項30】 前記 $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}$ の遷移によって556~576nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項29記載のファイバーアンプ。

【請求項31】 前記 $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$ の遷移によって605~625nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項29記載のファイバーアンプ。

【請求項32】 前記 $^4F_{3/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$ の遷移によって640~660nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項29記載のファイバーアンプ。

【請求項33】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして $Sm^{3+}$ のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項29から32いずれか1項記載のファイバーアンプ。

【請求項34】  $Eu^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>0.9</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有することを特徴とするファイバーアンプ。

【請求項35】 前記 $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ の遷移によって579~599nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項34記載のファイバーアンプ。

【請求項36】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして $Eu^{3+}$ のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項34または35記載のファイバーアンプ。

【請求項37】  $Dy^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>0.9</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{13/2}$ あるいは $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$ の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有することを特徴とするファイバーアンプ。

【請求項38】 前記 $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{13/2}$ の遷移によって562~582nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項37記載のファイバーアンプ。

【請求項39】 前記 $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$ の遷移によって654~674nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項37記載のファイバーアンプ。

【請求項40】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして $Dy^{3+}$ のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項37から39いずれか1項記載のファイバーアンプ。

【請求項41】  $Er^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>0.9</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ あるいは $^2H_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有することを特徴とするファイバーアンプ。

【請求項42】 前記 $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ の遷移によって530~550nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項41記載のファイバーアンプ。

【請求項43】 前記 $^2H_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ の遷移によって544~564nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増

幅することを特徴とする請求項4記載のファイバーアンプ。

【請求項44】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして $\text{Er}^{3+}$ のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項41から43いずれか1項記載のファイバーアンプ。

【請求項45】  $\text{Tb}^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーを $\text{GaN}$ 系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有することを特徴とするファイバーアンプ。

【請求項46】 前記 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によって530~550nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅することを特徴とする請求項45記載のファイバーアンプ。

【請求項47】 前記ファイバーが、希土類元素イオンとして $\text{Tb}^{3+}$ のみがコアに添加されたものであることを特徴とする請求項45または46記載のファイバーアンプ。

【請求項48】 前記 $\text{GaN}$ 系レーザーダイオードが、 $\text{InGaIn}$ 、 $\text{InGaInAs}$ あるいは $\text{GaInAs}$ からなる活性層を有するものであることを特徴とする請求項25から47いずれか1項記載のファイバーアンプ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、希土類元素イオンが添加されたコアを有するファイバーを、レーザーダイオード（半導体レーザー）によって励起してレーザービームを発生させるファイバーレーザーに関するものである。

【0002】また本発明は、希土類元素イオンが添加されたコアを有するファイバーをレーザーダイオードで励起して蛍光を生じさせ、ファイバーに入射した光をこの蛍光によって増幅するファイバーアンプに関するものである。

【0003】

【従来の技術】例えば電子情報通信学会技報、LQE95-30(1995)p.30や、Optics communications 86(1991)p.337に示されるように、 $\text{Pr}^{3+}$ が添加された弗化物系のコアを有するファイバーをレーザーダイオードによって励起してレーザービームを発生させるファイバーレーザーが知られている。

【0004】また、同じく上記文献に示されるように、 $\text{Pr}^{3+}$ が添加されたコアを有するファイバーをレーザーダイオードによって励起して蛍光を生じさせ、この蛍光の波長領域に含まれる光をファイバーに入射させて該蛍光のエネルギーによって増幅するファイバーアンプが知られている。

【0005】特に後者の文献には、Arレーザー励起の

$\text{Pr}^{3+}$ ドープファイバーレーザーが記載されており、476.5nm励起による491nm、520nm、605nm、635nmの発振が確認されている。

【0006】ところで、上記のファイバーレーザーやファイバーアンプは、青色や緑色領域のレーザービームを発生させたり、あるいは増幅することが可能であるから、それらによって、カラー感光材料にカラー画像を書き込むための光源を構成することも考えられる。

【0007】しかし、上記Arレーザー励起のファイバーレーザーやファイバーアンプは、カラー画像書き込み等のために数W~数10Wクラスのパワーで励起しようとすると、水冷手段が必要となることから、装置の大型化、低寿命、低効率の問題を招く。

【0008】上記の事情に鑑みて本出願人は、特願平10-6370号（特開平11-204862号参照）において、効率良く高出力の青色領域や緑色領域のレーザービームを発生可能で、小型に形成することができ、しかも出力やビーム品質の安定性が高いファイバーレーザーを提案した。このファイバーレーザーは、前述の $\text{Pr}^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーを、 $\text{GaIn}$ 系レーザーダイオードによって励起する構成を有することを特徴とするものである。

【0009】また本出願人は、同じく特願平10-6370号において、青色領域や緑色領域のレーザービームを効率良く増幅可能で、小型に形成することができ、しかも出力やビーム品質の安定性が高いファイバーアンプも提案した。このファイバーアンプは、 $\text{Pr}^{3+}$ が添加されたコアを持つファイバーを、 $\text{GaIn}$ 系レーザーダイオードによって励起し、該励起により生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有するものである。

【0010】さらに本出願人は、特願平11-206817号（特開2001-36168号参照）において、 $\text{Er}^{3+}$ 、 $\text{Ho}^{3+}$ 、 $\text{Dy}^{3+}$ 、 $\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Sm}^{3+}$ 、 $\text{Pm}^{3+}$ および $\text{Nd}^{3+}$ のうちの少なくとも1つと $\text{Pr}^{3+}$ とが共ドープされたコアを持つファイバーを、 $\text{GaIn}$ 系レーザーダイオードによって励起するようにしたファイバーレーザーや、上記と同様のファイバーを $\text{GaIn}$ 系レーザーダイオードによって励起し、この励起によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅するファイバーアンプを提案した。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記特開平11-204862号や特開2001-36168号に示されるファイバーレーザーのように $\text{GaIn}$ 系レーザーダイオードを励起源として、さらに別の多くの波長で発振し得るファイバーレーザーを提供することを目的とする。

【0012】さらに本発明は、上記特開平11-204862号や特開2001-36168号に示されるファ

イパーアンプのようにGaN系レーザーダイオードを励起源として、さらに別の多くの波長の光を増幅することができるファイバーアンプを提供することを目的とする。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】本発明による一つのファイバーレーザーは、 $\text{Ho}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGaN系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ 、あるいは $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このファイバーレーザーは、より具体的には、 $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ の遷移によって波長が740~760nmのレーザービームを発生させたり、あるいは $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によって波長が540~560nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0014】なお、上記 $\text{Ho}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は420nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとして $\text{Ho}^{3+}$ のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0015】また、本発明による別のファイバーレーザーは、 $\text{Sm}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGaN系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ 、 $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ 、あるいは $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このファイバーレーザーは、より具体的には、 $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ の遷移によって波長が556~576nmのレーザービームを発生させたり、あるいは $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ の遷移によって波長が605~625nmのレーザービームを発生させたり、さらには $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によって波長が640~660nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0016】なお、上記 $\text{Sm}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は404nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとして $\text{Sm}^{3+}$ のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0017】また、本発明によるさらに別のファイバーレーザーは、 $\text{Eu}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGaN系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このファイバーレーザーは、より具体的には、 $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ の遷移によって波長が579~599nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0018】なお、上記 $\text{Eu}^{3+}$  が添加されたコアを持

つファイバーの励起波長は394nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとして $\text{Eu}^{3+}$ のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0019】また、本発明によるさらに別のファイバーレーザーは、 $\text{Dy}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGaN系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ あるいは $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このファイバーレーザーは、より具体的には、 $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ の遷移によって波長が562~582nmのレーザービームを発生させたり、あるいは $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によって波長が654~674nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0020】なお、上記 $\text{Dy}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は390nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとして $\text{Dy}^{3+}$ のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0021】また、本発明によるさらに別のファイバーレーザーは、 $\text{Er}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGaN系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ あるいは $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このファイバーレーザーは、より具体的には、 $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ の遷移によって波長が530~550nmのレーザービームを発生させたり、 $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ の遷移によって波長が544~564nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0022】なお、上記 $\text{Er}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は406nmあるいは380nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとして $\text{Er}^{3+}$ のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0023】また、本発明によるさらに別のファイバーレーザーは、 $\text{Tb}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGaN系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このファイバーレーザーは、より具体的には、 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によって波長が530~550nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0024】なお、上記 $\text{Tb}^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は380nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとして $\text{Tb}^{3+}$

9

$^{3+}$  のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0025】一方、上記構成の各ファイバーレーザーにおいて、励起光源としてのGa<sub>3</sub>N系レーザーダイオードは、より具体的には、例えばInGa<sub>3</sub>N、InGa<sub>3</sub>NAsあるいはGa<sub>3</sub>NAsからなる活性層を有するものを使用することができる。

【0026】一方、本発明による一つのファイバーアンプは、Ho<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>3</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5S_2 \rightarrow ^5I_7$ 、あるいは $^5S_2 \rightarrow ^5I_8$  の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有するものである。このファイバーアンプは、より具体的には、 $^5S_2 \rightarrow ^5I_7$  の遷移によって740~760nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅したり、 $^5S_2 \rightarrow ^5I_8$  の遷移によって540~560nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成をとることができる。

【0027】なお、上記Ho<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は420nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとしてHo<sup>3+</sup> のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0028】また、本発明による別のファイバーアンプは、Sm<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>3</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}$ 、 $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$ 、あるいは $^4F_{3/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$  の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有するものである。このファイバーアンプは、より具体的には、 $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}$  の遷移によって556~576nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅したり、 $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$  の遷移によって605~625nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅したり、あるいは $^4F_{3/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$  の遷移によって640~660nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成をとることができる。

【0029】なお、上記Sm<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は404nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとしてSm<sup>3+</sup> のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0030】また、本発明によるさらに別のファイバーアンプは、Eu<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>3</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該フ

10

ィバーにおける $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$  の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有するものである。このファイバーアンプは、より具体的には、 $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$  の遷移によって579~599nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成をとることができる。

【0031】なお、上記Eu<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は394nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとしてEu<sup>3+</sup> のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0032】また、本発明によるさらに別のファイバーアンプは、Dy<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>3</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{13/2}$  あるいは $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$  の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有するものである。このファイバーアンプは、より具体的には、 $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{13/2}$  の遷移によって562~582nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅したり、あるいは $^4F_{9/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$  の遷移によって654~674nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成をとることができる。

【0033】なお、上記Dy<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は390nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとしてDy<sup>3+</sup> のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0034】また、本発明によるさらに別のファイバーアンプは、Er<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーをGa<sub>3</sub>N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$  あるいは $^2H_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$  の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有するものである。このファイバーアンプは、より具体的には、 $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$  の遷移によって530~550nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅したり、あるいは $^2H_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$  の遷移によって544~564nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成をとることができる。

【0035】なお、上記Er<sup>3+</sup> が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は406nmあるいは380nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとしてEr<sup>3+</sup> のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

50

【0036】また、本発明によるさらに別のファイバーアンプは、 $Tb^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーをGa N系レーザーダイオードによって励起し、該ファイバーにおける $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$  の遷移によって生じる蛍光の波長領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成を有するものである。このファイバーアンプは、より具体的には、 $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$  の遷移によって530~550nmの波長領域の蛍光を発生させて、この領域に含まれる波長の入射光を増幅する構成をとることができる。

【0037】なお、上記 $Tb^{3+}$  が添加されたコアを持つファイバーの励起波長は380nmとされる。そしてこのファイバーとしては、希土類元素イオンとして $Tb^{3+}$  のみがコアに添加されたものを好適に用いることができる。

【0038】一方、上記構成の各ファイバーアンプにおいても、励起光源としてのGa N系レーザーダイオードは、より具体的には、例えばInGa N、InGa NAsあるいはGa NAsからなる活性層を有するものを使用することができる。

【0039】

【発明の効果】 $Ho^{3+}$ 、 $Sm^{3+}$ 、 $Eu^{3+}$ 、 $Dy^{3+}$ 、 $Er^{3+}$  および $Tb^{3+}$  は波長380~420nmに吸収帯があり、Ga N系レーザーダイオードによって励起され得る。波長380~430nmはGa N系レーザーダイオードが比較的発振しやすい波長帯であり、そして特に波長400~410nmは、現在提供されているGa N系レーザーダイオードの最大出力が得られる波長帯であるので、これらの $Ho^{3+}$ 、 $Sm^{3+}$ 、 $Eu^{3+}$ 、 $Dy^{3+}$ 、 $Er^{3+}$  および $Tb^{3+}$  をGa N系レーザーダイオードによって励起すれば、励起光の吸収量を大きく確保可能で、それにより、高効率化および高出力化が達成される。

【0040】そして、先に例を挙げた通り、これらの $Ho^{3+}$ 、 $Sm^{3+}$ 、 $Eu^{3+}$ 、 $Dy^{3+}$ 、 $Er^{3+}$  および $Tb^{3+}$  による蛍光の波長帯は広い範囲に亘るので、従来に無い波長で発振するファイバーレーザーを得ることが可能となる。

【0041】一方、Ga N系レーザーダイオードは熱伝導係数が130 W/m℃と、ZnMgSSe系レーザーダイオードの4 W/m℃等と比べて極めて大きい。またそれに加えて、転移の移動度もZnMgSSe系レーザーダイオードと比べて非常に小さいことから、COD（カタストロフィック・オプティカル・ダメージ）が非常に高く、高寿命、高出力が得やすいものである。このように高寿命、高出力が得やすいGa N系レーザーダイオードを励起光源として用いたことにより、本発明のファイバーレーザーは、高寿命で、高出力のレーザービームを発生可能となる。

【0042】なお励起光源であるGa N系レーザーダイ

オードとしては、単一縦、横モード型のものを使用できることは勿論、その他ブロードエリア型、フェーズドアレー型、あるいはMOPA型の高出力タイプのものを1個または複数個使用することもできる。そのようにすることにより本発明のファイバーレーザーは、さらなる高出力、例えばW（ワット）クラスの高出力を得ることも可能である。

【0043】以上説明した全ての効果は、本発明のファイバーアンプにおいても同様に得られるものであり、よって本発明のファイバーアンプによれば、広い範囲に亘る波長の光を強力に増幅可能となる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。まず、ファイバーレーザーとして構成された第1~6の実施の形態について説明する。

【0045】＜第1の実施の形態＞図1は、本発明の第1の実施の形態によるファイバーレーザーを示すものである。このファイバーレーザーは、励起光としてのレーザービーム10を発するレーザーダイオード11と、発散光であるレーザービーム10を集光する集光レンズ12と、 $Ho^{3+}$  がドーブされたコアを持つファイバー13とからなる。

【0046】レーザーダイオード11としては、発振波長420nmのブロードエリア型のGa N系レーザーダイオードが用いられている。

【0047】またファイバー13は図2に断面形状を示すように、断面正円形のコア20と、その外側に配された断面ほぼ矩形の第1クラッド21と、その外側に配された断面正円形の第2クラッド22とからなる。コア20は $Ho^{3+}$  が例えば1at%ドーブされたZr系弗化物ガラス、例えばZBLANP（ $ZrF_4 - BaF_2 - LaF_3 - AlF_3 - AlF_3 - NaF - PbF_2$ ）からなり、第1クラッド21は一例としてZBLAN（ $ZrF_4 - BaF_2 - LaF_3 - AlF_3 - NaF$ ）からなり、第2クラッド22は一例としてポリマーからなる。

【0048】なおコア20は上記ZBLANPに限らず、ZBLANや、In/Ga系弗化物ガラス、例えばIGPZCLすなわち（ $InF_3 - GaF_3 - LaF_3$ ）-（ $PbF_2 - ZnF_2$ ）-CdF等を用いて形成されてもよい。

【0049】集光レンズ12により集光された波長420nmのレーザービーム10は、上記ファイバー13の第1クラッド21に入力され、そこを導波モードで伝搬する。つまりこの第1クラッド21は、励起光であるレーザービーム10に対してはコアとして作用する。

【0050】レーザービーム10は、このように伝搬する間にコア20の部分も通過する。コア20においては、入射したレーザービーム10によって $Ho^{3+}$  が励起され、 $^5S_2 \rightarrow ^5I_8$  の遷移によって波長550nmの



蛍光が生じる。この蛍光はコア20を導波モードで伝搬する。

【0051】ZBLANPからなるコア20においては、その他に、 $^5S_2 \rightarrow ^5I_7$  の遷移による波長750nmの蛍光等が発生し得る。そこで、ファイバー13の入射端面13aには、波長550nmに対してHR（高反射）で、波長750nm等の他の蛍光並びに励起波長420nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、ファイバー13の出射端面13bには、波長550nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。

【0052】それにより、上記波長550nmの蛍光はファイバー13の両端面13a、13b間で共振して、レーザー発振を引き起こす。こうして波長550nmの緑色のレーザービーム15が発生し、このレーザービーム15はファイバー13の出射端面13bから前方に出射する。

【0053】なお本例では、レーザービーム15はコア20においてシングルモードで、一方励起光であるレーザービーム10は第1クラッド21においてマルチモードで伝搬する構成とされている。それにより、高出力のプロードエリア型レーザーダイオード11を励起光源に適用して、レーザービーム10を高い結合効率でファイバー13に入力させることが可能となっている。

【0054】また、第1クラッド21の断面形状がほぼ矩形とされているため、レーザービーム10がクラッド断面内で不規則な反射経路を辿り、コア20に入射する確率が高められている。

【0055】それに加えて波長420nmは、GaN系レーザーダイオード11の大きな出力が得られる波長帯にあるので、コア20における波長420nmのレーザービーム10の吸収量が大きくなり、高効率化および高出力化が達成される。具体的に本実施の形態においては、ファイバー13の長さが1mのとき、出力300mWのレーザーダイオード11を用いて、出力150mWの緑色のレーザービーム15を得ることができた。

【0056】なお、 $Ho^{3+}$  がドープされたコア20を持つファイバー13を用いる場合は、前述の  $^5S_2 \rightarrow ^5I_7$  の遷移によって波長750nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー13の両端面13a、13bに施すコートの設定次第で、波長750nmのレーザービームを発振させることも可能である。

【0057】＜第2の実施の形態＞この第2の実施の形態によるファイバーレーザーは、図1に示したファイバーレーザーと基本的に同様の構成を有するものであるので、以下この図1中の番号を流用して説明する（後述する第3～6の実施の形態も同様）。

【0058】このファイバーレーザーは図1に示したファイバーレーザーと比べると、ファイバー13のコア20にドープされている希土類元素イオン、およびファイバー13の両端面13a、13bに施すコートが異なるものである。

【0059】すなわち本実施の形態において、ファイバー13のコア20には  $Sm^{3+}$  が1at%ドープされている。またコア20における  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{5/2}$  の遷移を利用して波長566nmのレーザービームを発生させるために、ファイバー13の入射端面13aには、波長566nmに対してHR（高反射）で、他の  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{1/2}$  の遷移による波長615nmの蛍光および  $^4F_{3/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$  の遷移による波長650nmの蛍光等、並びに励起波長404nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、ファイバー13の出射端面13bには、波長566nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長404nmのものが用いられている。

【0060】この構成においては、ファイバー13の長さが1mのとき、出力200mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力110mWの波長566nmのレーザービーム15を得ることができた。

【0061】なお、 $Sm^{3+}$  がドープされたコア20を持つファイバー13を用いる場合は、前述の  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{1/2}$  の遷移による波長615nmの蛍光や、 $^4F_{3/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$  の遷移による波長650nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー13の両端面13a、13bに施すコートの設定次第で、波長615nmのレーザービームや波長650nmのレーザービームを発振させることも可能である。

【0062】＜第3の実施の形態＞この第3の実施の形態によるファイバーレーザーも、図1に示したファイバーレーザーと比べると、ファイバー13のコア20にドープされている希土類元素イオン、およびファイバー13の両端面13a、13bに施すコートが異なるものである。

【0063】すなわち本実施の形態において、ファイバー13のコア20には  $Eu^{3+}$  が1at%ドープされている。また、コア20における  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$  の遷移によって波長589nmのレーザービームを発生させるために、ファイバー13の入射端面13aには、波長589nmに対してHR（高反射）で、他の遷移による蛍光、並びに励起波長394nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、ファイバー13の出射端面13bには、波長589nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長394nmのものが用いられている。

【0064】この構成においては、ファイバー13の長さが1mのとき、出力100mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力40mWの波長589nmのレーザービーム15を得ることができた。

【0065】＜第4の実施の形態＞この第4の実施の形態によるファイバーレーザーも、図1に示したファイバーレーザーと比べると、ファイバー13のコア20にドープされている希土類元素イオン、およびファイバー13の両

端面13a、13bに施すコートが異なるものである。

【0066】すなわち本実施の形態において、ファイバー13のコア20には $Dy^{3+}$ が1at%ドープされている。また、コア20における ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$ の遷移を利用して波長572nmのレーザービームを発生させるために、ファイバー13の入射端面13aには、波長572nmに対してHR（高反射）で、他の ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ の遷移による波長664nmの蛍光等、並びに励起波長390nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、ファイバー13の出射端面13bには、波長572nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長390nmのものが用いられている。

【0067】この構成においては、ファイバー13の長さが1mのとき、出力100mWのGaIn系レーザーダイオード11を用いて、出力50mWの波長572nmのレーザービーム15を得ることができた。

【0068】なお、 $Dy^{3+}$ がドープされたコア20を持つファイバー13を用いる場合は、前述の ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ の遷移による波長664nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー13の両端面13a、13bに施すコートの設定次第で、波長664nmのレーザービームを発振させることも可能である。

【0069】＜第5の実施の形態＞この第5の実施の形態によるファイバーレーザーも、図1に示したファイバーレーザーと比べると、ファイバー13のコア20にドープされている希土類元素イオン、およびファイバー13の両端面13a、13bに施すコートが異なるものである。

【0070】すなわち本実施の形態において、ファイバー13のコア20には $Er^{3+}$ が1at%ドープされている。また、コア20における ${}^2H_{9/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ の遷移を利用して波長554nmのレーザービームを発生させるために、ファイバー13の入射端面13aには、波長554nmに対してHR（高反射）で、他の ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ の遷移による波長540nmの蛍光等、並びに励起波長406nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、ファイバー13の出射端面13bには、波長554nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長406nmのものが用いられている。

【0071】この構成においては、ファイバー13の長さが1mのとき、出力200mWのGaIn系レーザーダイオード11を用いて、出力120mWの波長554nmのレーザービーム15を得ることができた。

【0072】なお、 $Er^{3+}$ がドープされたコア20を持つファイバー13を用いる場合は、前述の ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ の遷移による波長540nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー13の両端面13a、13bに施

すコートの設定次第で、波長540nmのレーザービームを発振させることも可能である。

【0073】また、この $Er^{3+}$ がドープされたコア20を持つファイバー13を用いる場合、その励起波長は上述の406nmの他に、380nmとすることもできる。

【0074】＜第6の実施の形態＞この第6の実施の形態によるファイバーレーザーも、図1に示したファイバーレーザーと比べると、ファイバー13のコア20にドープされている希土類元素イオン、およびファイバー13の両端面13a、13bに施すコートが異なるものである。

【0075】すなわち本実施の形態において、ファイバー13のコア20には $Tb^{3+}$ が1at%ドープされている。また、コア20における ${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_5$ の遷移によって波長540nmのレーザービームを発生させるために、ファイバー13の入射端面13aには、波長540nmに対してHR（高反射）で、他の遷移による蛍光、並びに励起波長380nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、ファイバー13の出射端面13bには、波長540nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長380nmのものが用いられている。

【0076】この構成においては、ファイバー13の長さが1mのとき、出力100mWのGaIn系レーザーダイオード11を用いて、出力30mWの波長540nmのレーザービーム15を得ることができた。

【0077】次に、ファイバーアンプとして構成された第7～12の実施の形態について説明する。

【0078】＜第7の実施の形態＞図3は、本発明の第7の実施の形態によるファイバーアンプを示すものである。このファイバーアンプは、励起光としての波長420nmのレーザービーム10を発するレーザーダイオード11と、発散光であるレーザービーム10を平行光化するコリメーターレンズ50と、平行光となったレーザービーム10を集光する集光レンズ51と、 $Ho^{3+}$ がドープされたコアを持つファイバー53とを有している。

【0079】またコリメーターレンズ50と集光レンズ51との間には、ビームスプリッタ52が配されている。そしてこのビームスプリッタ52の図中下方には、波長550nmのレーザービーム55を発するSHG（第2高調波発生）レーザー56が配設されている。このレーザービーム55はコリメーターレンズ57によって平行光化され、平行光となったレーザービーム55は上記ビームスプリッタ52に入射する。

【0080】ファイバー53は、基本的には図2に示されたファイバー13と同様の構成を有するが、その端面53aおよび53bには、以上述べた各波長に対してAR（無反射）となる特性のコートが施されている。

【0081】一方SHGレーザー56は、基本波光源としてのDBR（分布ブラッグ反射型）レーザーダイオードから発せられた波長1100nmのレーザービームを、周期

ドメイン反転構造を有する非線形光学材料からなる光導波路に入射させて、 $1/2$ の波長つまり550nmのレーザービーム55を得るものである。

【0082】このレーザービーム55はビームスプリッタ52で反射して、レーザービーム10とともにファイバー53に入射する。ファイバー53においては、第1の実施の形態で説明した通り、レーザービーム10により励起されて波長550nmの蛍光が生じる。レーザービーム55は、それと同波長の上記蛍光からエネルギーを受けて増幅され、ファイバー53の出射端面53bから前方に出射する。

【0083】本実施の形態では、SHGレーザー56の出力が1mWのとき、ファイバー53から出力60mWのレーザービーム55を取り出すことができた。

【0084】なお、SHGレーザー56の基本波光源である上記DBRレーザーダイオードに変調機能を付加させることにより、ファイバー53から増幅して取り出されるレーザービーム55を変調することも可能である。

【0085】また、 $\text{Ho}^{3+}$  がドープされたコアを持つファイバー53を用いる場合は、前述の  $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$  の遷移によって波長750nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの設定次第で、波長750nmのレーザービームを増幅することも可能である。

【0086】＜第8の実施の形態＞この第8の実施の形態によるファイバーアンプは、図3に示したファイバーアンプと基本的に同様の構成を有するものであるので、以下この図3中の番号を流用して説明する（後述する第9～12の実施の形態も同様）。

【0087】このファイバーアンプは図3に示したファイバーアンプと比べると、ファイバー53のコアにドープされている希土類元素イオン、およびファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの異なるものである。

【0088】すなわち本実施の形態において、ファイバー53のコアには  $\text{Sm}^{3+}$  が1at%ドープされている。またここではファイバー53の両端面53a、53bに、コアにおける  $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$  の遷移で生じる蛍光の波長566nmおよび励起波長404nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施されている。そしてレーザーダイオード11としては、発振波長404nmのものが用いられている。

【0089】本実施の形態では、SHGレーザー56の出力が1.5mWのとき、ファイバー53から出力100mWのレーザービーム55を取り出すことができた。

【0090】なお、 $\text{Sm}^{3+}$  がドープされたコアを持つファイバー53を用いる場合は、前述の  $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$  の遷移による波長615nmの蛍光や、 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$  の遷移による波長650nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの設定次第で、波長615nmのレーザービームや波長650nmのレーザービームを増幅す

ることも可能である。

【0091】＜第9の実施の形態＞この第9の実施の形態によるファイバーアンプも、図3に示したファイバーアンプと比べると、ファイバー53のコアにドープされている希土類元素イオン、およびファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの異なるものである。

【0092】すなわち本実施の形態において、ファイバー53のコアには  $\text{Eu}^{3+}$  が1at%ドープされている。またここではファイバー53の両端面53a、53bに、コアにおける  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$  の遷移で生じる蛍光の波長589nmおよび励起波長394nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施されている。そしてレーザーダイオード11としては、発振波長394nmのものが用いられている。

【0093】本実施の形態では、SHGレーザー56の出力が1mWのとき、ファイバー53から出力50mWのレーザービーム55を取り出すことができた。

【0094】＜第10の実施の形態＞この第10の実施の形態によるファイバーアンプも、図3に示したファイバーアンプと比べると、ファイバー53のコアにドープされている希土類元素イオン、およびファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの異なるものである。

【0095】すなわち本実施の形態において、ファイバー53のコアには  $\text{Dy}^{3+}$  が1at%ドープされている。またここではファイバー53の両端面53a、53bに、コアにおける  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$  の遷移で生じる蛍光の波長572nmおよび励起波長390nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施されている。そしてレーザーダイオード11としては、発振波長390nmのものが用いられている。

【0096】本実施の形態では、SHGレーザー56の出力が1.5mWのとき、ファイバー53から出力80mWのレーザービーム55を取り出すことができた。

【0097】なお、 $\text{Dy}^{3+}$  がドープされたコアを持つファイバー53を用いる場合は、前述の  $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$  の遷移による波長664nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの設定次第で、波長664nmのレーザービームを増幅することも可能である。

【0098】＜第11の実施の形態＞この第11の実施の形態によるファイバーアンプも、図3に示したファイバーアンプと比べると、ファイバー53のコアにドープされている希土類元素イオン、およびファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの異なるものである。

【0099】すなわち本実施の形態において、ファイバー53のコアには  $\text{Er}^{3+}$  が1at%ドープされている。またここではファイバー53の両端面53a、53bに、コアにおける  $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$  の遷移の遷移で生じる蛍光の波長554nmおよび励起波長406nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施されてい

る。そしてレーザーダイオード11としては、発振波長406nmのものが用いられている。

【0100】本実施の形態では、SHGレーザー56の出力が1mWのとき、ファイバー53から出力80mWのレーザービーム55を取り出すことができた。

【0101】なお、 $Er^{3+}$  がドープされたコアを持つファイバー53を用いる場合は、前述の $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$  による波長540nmの蛍光も発生し得るので、ファイバー53の両端面53a、53bに施すコートの設定次第で、波長540nmのレーザービームを増幅することも可能である。

【0102】また、この $Er^{3+}$  がドープされたコアを持つファイバー53を用いる場合、その励起波長は上述の406nmの他に、380nmとすることもできる。

【0103】＜第12の実施の形態＞この第12の実施の形態によるファイバーアンプも、図3に示したファイバーアンプと比べると、ファイバー53のコアにドープされている希土類元素イオン、およびファイバー53の両端面53a、53bに施すコートが異なるものである。

【0104】すなわち本実施の形態において、ファイバー53のコアには $Tb^{3+}$  が1at%ドープされている。またここではファイバー53の両端面53a、53bに、コアにおける $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$  の遷移で生じる蛍光の波長540nmおよび励起波長380nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施されている。そしてレーザーダイオード11としては、発振波長380nmのものが用いられている。

【0105】本実施の形態では、SHGレーザー56の出力が1.5mWのとき、ファイバー53から出力70mWのレーザービーム55を取り出すことができた。

【0106】なお、励起光源であるGaN系レーザーダイオードとしては、InGaN系材料から活性層を構成したもの、InGaNAs系材料から活性層を構成した\*

ものの、そしてGaNAs系材料から活性層を構成したものから適宜選択して用いることが可能である。特に、ファイバーコアの吸収帯が長波長側にずれている場合は、InGaN系レーザーダイオードと比べてより長波長化が実現しやすいInGaNAs系あるいはGaNAs系レーザーダイオードを用いるのが望ましく、それにより吸収効率を向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態によるファイバーレーザーを示す概略側面図

【図2】図1のファイバーレーザーに用いられたファイバーの断面図

【図3】本発明の第3の実施の形態によるファイバーアンプを示す概略側面図

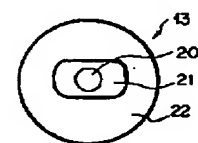
#### 【符号の説明】

- 10 レーザービーム（励起光）
- 11 InGaN系レーザーダイオード
- 12 集光レンズ
- 13 ファイバー
- 13a、13b ファイバーの端面
- 15 レーザービーム
- 20 コア
- 21 第1クラッド
- 22 第2クラッド
- 50 コリメーターレンズ
- 51 集光レンズ
- 52 ビームスプリッター
- 53 ファイバー
- 53a、53b ファイバーの端面
- 55 レーザービーム
- 56 SHGレーザー
- 57 コリメーターレンズ

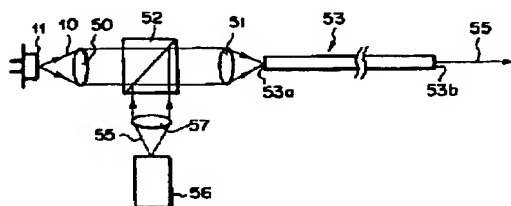
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 隆之  
神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富  
士写真フイルム株式会社内

Fターム(参考) 5F072 AB07 AK06 FF03 PP07 RR03  
RR05